

115年第四十屆天氣分析與預報研討會

氣象防災與跨域應用

新一代劇烈天氣監測系統（QPEPlus） 之社會經濟效益評估

陳注維¹、溫芳宜¹、林桓億¹、張郁婕¹、吳炫慶²

¹ 中華經濟研究院

² 中央氣象署綜合規劃組



中華經濟研究院
CHUNG-HUA INSTITUTION FOR ECONOMIC RESEARCH

報告人：陳注維 博士

中華民國 115 年 9 月 2 日

簡報大綱

OUTLINE

01 QPEPlus 產品應用與服務

02 氣象服務價值評估方法

03 評估方法及參數設定

04 QPEPlus效益推估

05 QPEPlus產品評估之研究限制

QPEPlus 產品 - 應用與服務

- 為提升氣象資訊在防災決策中的應用效益，中央氣象署自 2011 年起推動「劇烈天氣監測系統QPESUMS」，結合地理資訊系統 (GIS) 提供雷達、衛星、降雨、閃電及海象等多元氣象資訊，及極短期降雨監測與預報服務。
- 隨著極端天氣事件頻率上升，氣象署進一步開發新一代系統「QPEPlus」，以延伸並強化 QPESUMS 的功能，藉由操作介面升級、資料產品擴充、**客製化警示設計**及**資訊安全強化**，提供更高效與彈性的氣象服務。

劇烈天氣監測系統 (QPESUMS)

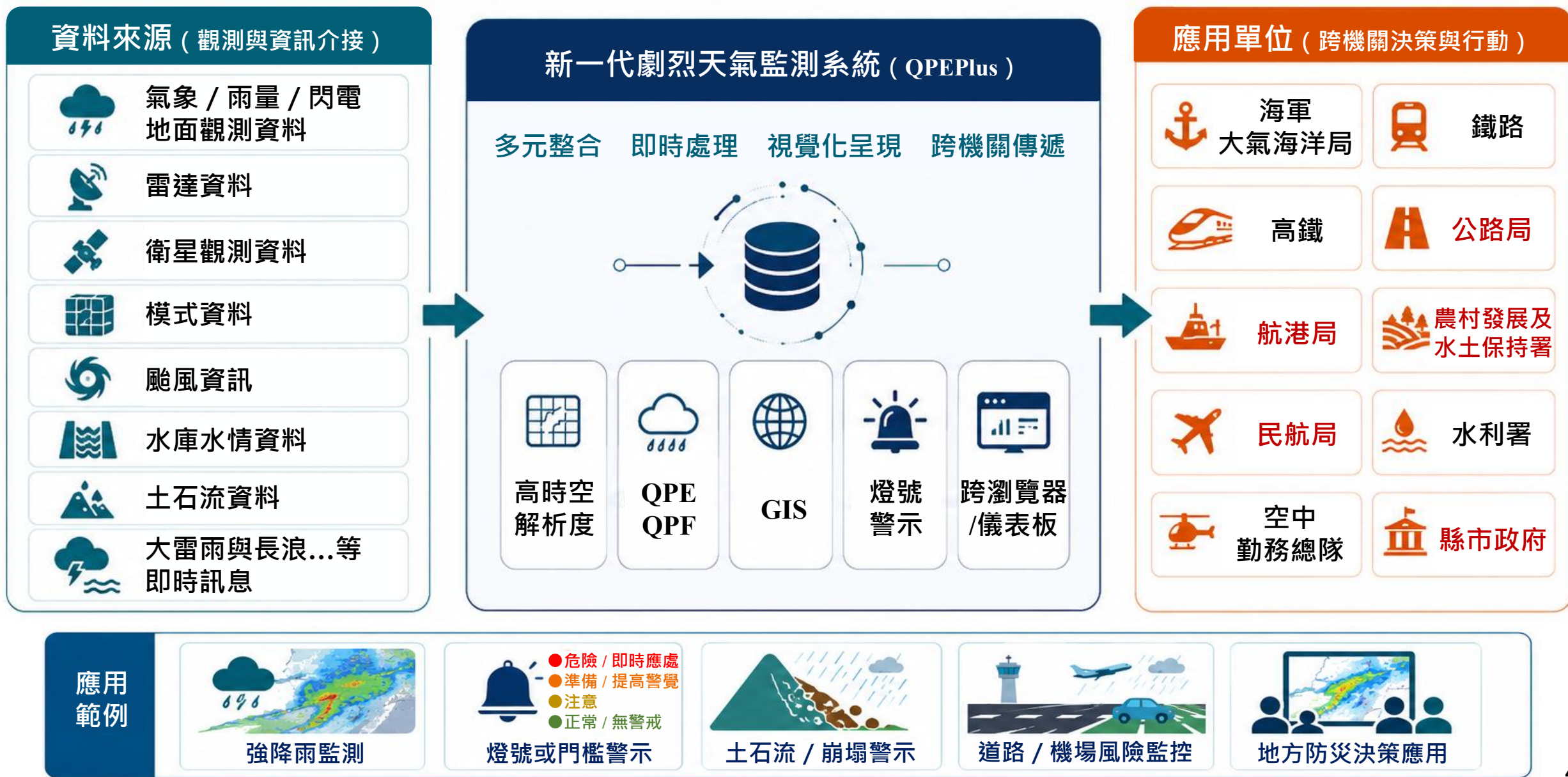
- ✓ **系統整合多元的氣象數據**，包含雷達、衛星、降雨、閃電、海象...等資料。
- ✓ **加強災害性天氣的監測與極短期之預報能力**，尤以颱風、梅雨、雷暴時，更可展現其優勢。
- ✓ **提供各業主機關客製化服務**，包括：交通部公路局、國道高速公路局、經濟部水利署、農業部農村發展及水土保持署以及各地方政府。
- ✓ **針對各單位之防災需求客製化設計網頁介面**，並且結合地理資訊系統 (GIS)。



新一代劇烈天氣監測系統 (QPEPlus)

- ✓ 延續並提升原QPESUMS對政府機關的氣象防災資訊服務效能。
- ✓ 升級之處主要包含**網頁服務**、**產品供應提升**（防災降雨雷達、混合式定量降水預報、圖形化客製化警示系統、各類地理資訊以及雷達回波3D圖）、**操作介面升級**（使用電子地圖、提供氣象層場疊加功能、輪播動畫以及互動式圖資）、**強化資訊安全**。

QPEPlus 產品 - 資訊傳遞及應用單位



QPEPlus 產品 - 應用領域及效益評估項目

交通領域應用



航港局-風浪預警

- ✓將七級風以上或三米浪以上設定預警紅燈，區域內紅燈點達40%則視為「危險海域」，提醒船隻遠離危險海域（可依時程規定進行告警作為或驅離作業）。



民航局-閃電預警

- ✓機場三同心圓內閃電燈號總表
- ✓機場/航路/待命區之劇烈天氣預警



公路局-雨量預警

- ✓針對監控路段/橋梁，監控泥流水/海浪侵襲，進行燈號警示，提供封橋封路作業準備參考
- ✓搶修橋梁便道過程之上游雨量雨量預警燈號
- ✓監測區之最大/平均雨量以評估橋梁穩定性

防災領域應用



農村發展及水土保持署

- ✓水保署結合QPEPlus資料進行土石流和大規模崩塌資訊預警，並透過API提供給氣象署或其他單位



縣市政府/防災應變單位

- ✓利用自訂標準進行雨量高低溫守視/燈號警示
- ✓提供易積水/坡地提前設置警戒措施及行動

市場價值：預警減災效益

- 1.提升災害管理效率
- 2.避免基礎設施損害



非市場價值：避免傷亡及環境面損失

- 1.維護生命及財產安全
- 2.環境面價值
- 3.提升資訊互助價值



氣象服務價值評估方法

《評估氣象與氣候價值：氣象和水文服務的經濟評估》

1



經驗判斷及 歷史成本法

依歷史經驗與既有
成本資料進行評估。

2



市場價值法

以可觀察市場價格
估計經濟價值。

3



成本函數法

以成本函數估計產
出變化之經濟價值。

4



成本損失估算法

估算避免之損失或
減少之成本。

5



影子價格法

運用影子價格反應
資源之真實價值。

6



機會成本法

以最佳替代選擇之
價值作為估值依據。

7



問卷訪談

(專家或利害關係人)
透過問卷或訪談蒐集
支付意願或評估意見。

8



專家評估法

由專家依專業判斷
進行價值評估。

9



效益移轉法

將類似研究之估值
結果移轉應用。

10



關聯生產函數法

以產出函數分析投入
變動之經濟影響。

11



可計算一般均衡分析法
以CGE模型評估整體經濟
均衡下之效益與成本。

12



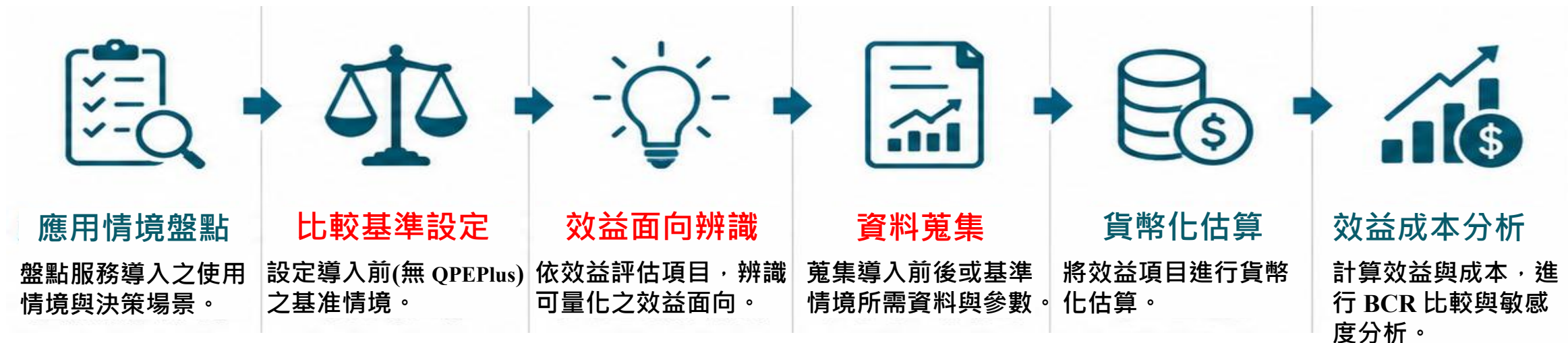
替代市場價值評估法
以替代性市場交易價格
估算經濟價值。

13



假設市場價值評估法
假設存在市場條件，估
計支付意願或需求價值。

評估方法及參數設定 - 評估概念與價值推估



1

具備導入前後實際差異資料



若單位具備導入前後之事故件數、災損、作業中斷或成功疏散等實際差異資料，可直接以「**已避免之實際損失(或傷亡價值)**」進行估算，無需額外套用減災係數。



**效益 ≈ 已避免之實際損失
(或傷亡價值)**

2

未具備前後差異資料



若無導入前後差異資料，則以導入前之歷史災害損失作為基準，搭配**文獻減災係數**與**專家評估之氣象貢獻率**，估算導入後之潛在效益。



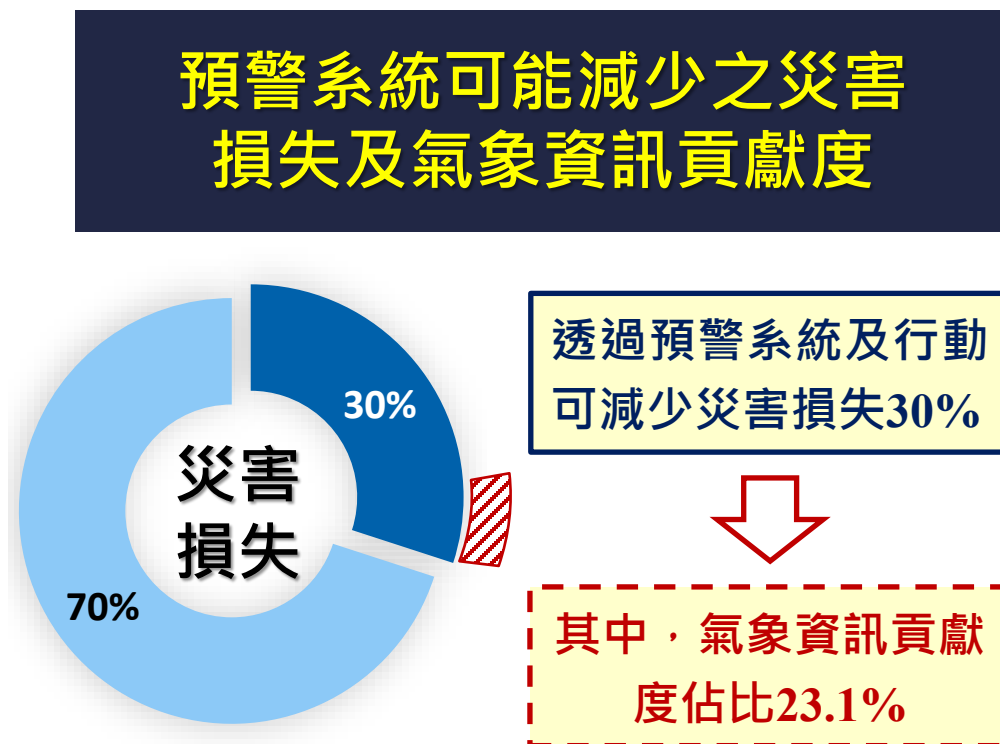
**氣象應用效益 = 災害損失 ×
減災係數 × 氣象貢獻率**

評估方法及參數設定 - 減少災害損失及氣象資訊貢獻度

- 預警系統四要素：



- WMO 指出，若能在災害發生前 24 小時**發布預警**並**採取行動**，則災害造成的損失可減少約**30%**，其中包含生命、基礎設施、資產、經濟中斷等綜合損失。
- 此外，**防災應變決策過程中需要綜合多項資訊**，包括氣象資訊、水文資訊、危險潛勢區域、救援設施/設備分佈資訊等，諸多資訊的協助。
- 本研究團隊於**2024年**針對**防災業務所需之資訊貢獻佔比**進行研析，其中**天氣預報資訊的平均貢獻佔比為23.1%**。



評估方法及參數設定 - 避免生命傷亡效益

統計生命價值(VSL)文獻彙整

文獻來源	統計生命價值 (每人)	評估國家
Zhai 等人 (2003)	330-920 萬美元 (約新臺幣 1.06-2.96 億)	日本
劉錦龍 (2011)	新臺幣 0.73-1.1 億元	臺灣
Dassanayake 等人 (2012)	250-920 萬美元 (約新臺幣 0.8-2.96 億)	德國
Bockarjova 等人(2012)	960 萬美元 (約新臺幣 3.09 億)	荷蘭
公路總局 (2014)	新臺幣 3,000 萬元	臺灣
Viscusi 等人 (2017)	960 萬美元 (約新臺幣 3.09 億)	美國 / 國際
Cheng 等人 (2018)	234 萬美元 (約新臺幣 0.75 億)	澳洲
Kniesner 等人 (2019)	810 萬美元 (約新臺幣 2.61 億)	多國
運輸研究所(2019)	新臺幣 266-1,816 萬元	臺灣
劉哲良 (2019)	新臺幣 3.57億元	臺灣
Zhou 等人 (2020)	人民幣 493.55 萬元 (約新臺幣 0.22 億)	中國
Bhuiyan 等人 (2022)	1,514,972 令吉 (約新臺幣 0.1 億)	馬來西亞
Ugarov (2023)	1,113 萬美元 (約新臺幣 3.4 億)	美國
林昆良 (2023)	2,120 萬美元 (約新臺幣 6.8 億)	臺灣

重傷及輕傷統計生命價值推估

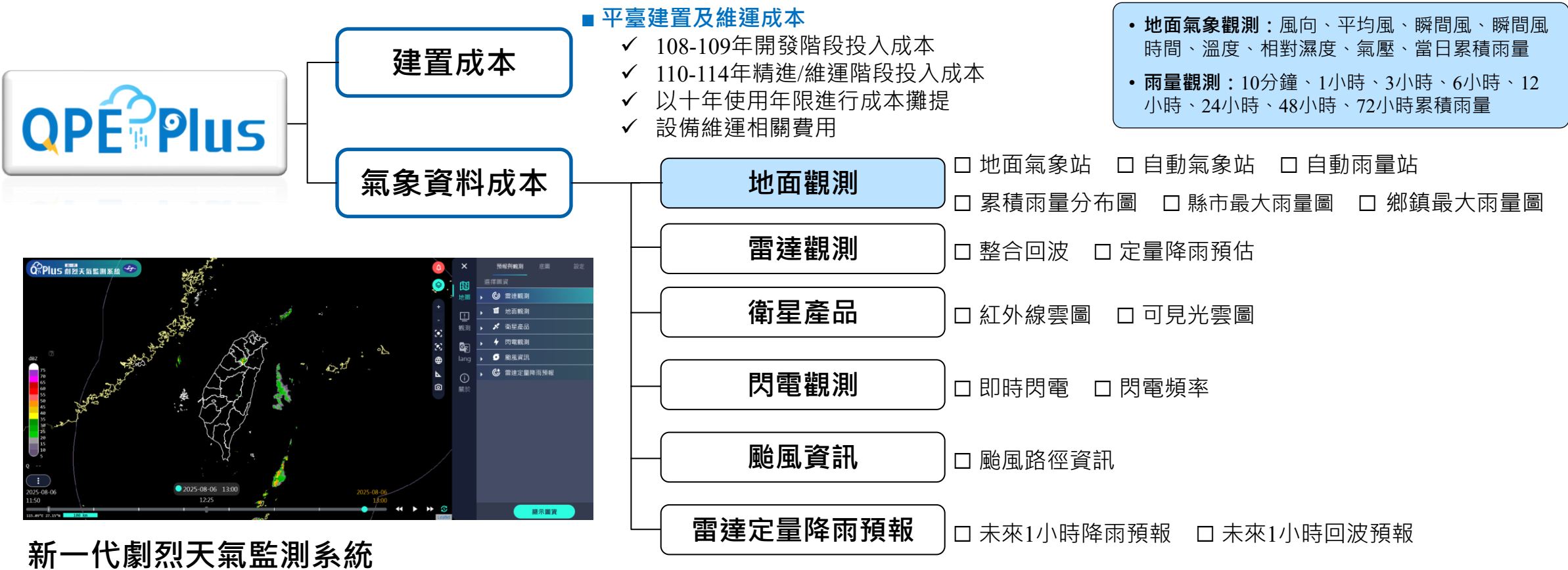
MAIS 等級 (Level)	嚴重程度 (Severity)	VSL 比例 (Fraction of VSL)	本研究採用推估金額
MAIS 1	輕微 (Minor)	0.003	輕傷9萬
MAIS 2	中度 (Moderate)	0.047	-
MAIS 3	嚴重 (Serious)	0.105	重傷315萬
MAIS 4	險峻 (Severe)	0.266	-
MAIS 5	危急 (Critical)	0.593	-
MAIS 6	不可存活 (Unsurvivable)	1	死亡3000萬

資料來源：U.S. DOT, 2021 VSL Guidance.

避免生命傷亡效益

= 死亡人數 × 3,000萬 + 重傷人數 × 315萬 + 輕傷人數 × 9萬

QPEPlus 成本推估



◆ 可透過規費的收費標準估算QPEPlus的資料使用成本； **QPESUMS資料/圖檔**不列入計算。

➤ **地面及高空氣象資料**：(1)逐時氣象要素；(11)閃電資料；(21)颱風警報單。

➤ **數值天氣預報模式資料**：(2)本署數值預報網格格點資料。

➤ **氣象即時資料**：(2)天氣預報、特報與颱風警報資料；(4)即時衛星雲圖中像素；(7)雷達觀測數據例行傳送；(8)雨量分佈圖。

平均每年系統成本為 **952.07 萬元**

QPEPlus 效益推估 - 航港局

 應用情境與成效說明

1



客製化海域風險監控平台
支援臺灣領海**12海浬**船舶告警

2



當風力或浪高達門檻時
以**燈號**警示並通知船舶
採取避災行動

3



導入後**未再出現**天候因素
造成之攔淺或沉沒事件

 量化效益分析

避免攔淺

0.473

避免沉沒

0.486

避免生命傷亡

0.208

00.20.40.60.8

QPEPlus應用效益 (億元)

 總效益：
1.167 億元

 BCR =
12.26

 估算方法

以2024年凱米颱風案例作為比較基準；**8艘攔淺**、**1艘沉沒**、**3人死亡**；因屬實際避免事故，直接以已避免損失估算，不另乘 30% 防減係數。

 海域即時預警可同時**降低船舶事故成本與生命傷亡風險**。

註：依據航港建設基金112年度預算評估報告，每艘攔淺船舶打撈費用約為 0.256 億元；沉沒船舶之移除與殘骸清理費用約為 2.102 億元。

QPEPlus 效益推估 - 民航局



應用情境與推估假設

- 1 以高時空解析度降雨、雷電與風險資訊支援飛航監管與機場警戒
- 2 惡劣天氣是造成航機受損與作業中斷的重要因素
- 3 本研究採天氣影響比例 23.8%與防減災係數30%推估潛在效益。



推估假設



平均機體受損成本 440 萬美元



重大飛安事故全毀數量 0.2 架/年



平均死亡人數 4.8 人/年



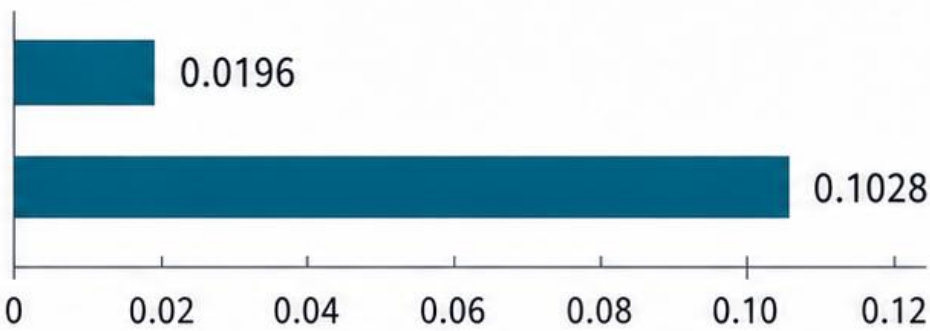
量化效益分析(每年)

避免機體損失

0.0196

避免生命傷亡

0.1028



QPEPlus應用效益 (億元)



總效益：0.1224 億元 | BCR = 1.29



民航局若導入充足之氣象資訊進行應用後，則可帶來的年效益約為 0.1224 億元。

註：依據《臺灣飛安統計2005-2014》報告指出，我國在這 10 年間 42 件民用航空運輸業飛機重大飛航事故原因分類當中，23.8%事件與天氣有關。

QPEPlus 效益推估 - 公路局

應用情境與推估假設

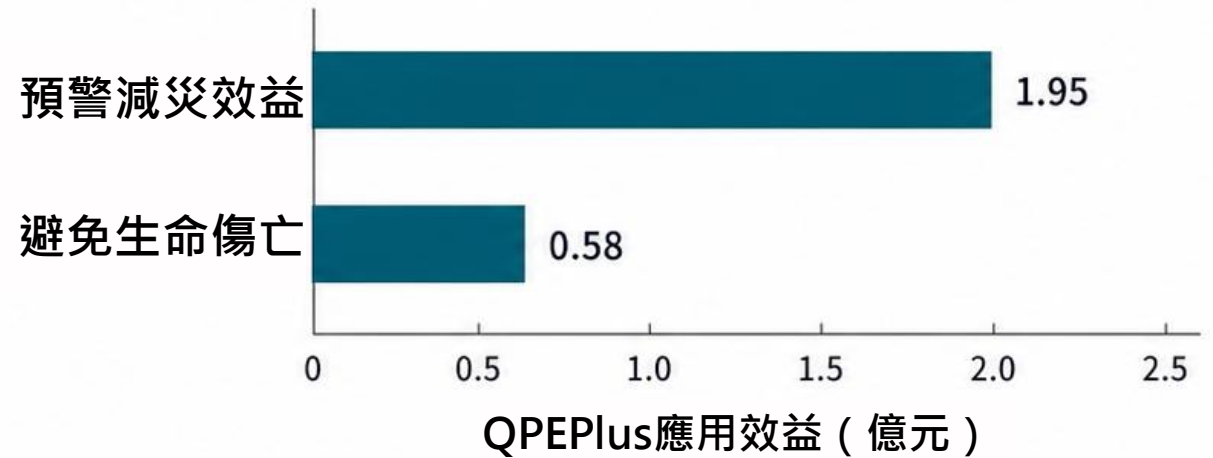
- 1 QPEPlus 支援豪雨事件中的封橋、封路、危險路段管制與預警決策
- 2 以導入前三年平均災損 **28.13億元**作為道路損失基準(排除莫拉克風災離群值)
- 3 同時以平均**死亡28人/年**估算生命安全效益

分析方法與假設

 **預警減災效益**
= 基準災損 × **30%**防減災係數 × **23.1%**氣象貢獻率

 **避免生命傷亡效益**(以統計生命價值法估算)
= 平均死亡人數 × 3,000萬元 × **30%**防減災係數 × **23.1%**氣象貢獻率

量化效益分析



總效益：**2.53** 億元

BCR = 26.60



在交通運輸部門中，公路局為目前評估結果中**效益最顯著**之應用案例。

QPEPlus 效益推估 - 農村發展及水土保持署



應用情境與假設

- ✓ 以1.3公里網格降雨資料支援土石流與大規模崩塌警戒
- ✓ 2024年重大災害成功疏散、避免傷亡人數**119人**
- ✓ 依不同死傷比例假設建立兩種生命安全情境

情境	死亡	重傷	輕傷
低風險	1%	4%	10%
高風險	10%	15%	25%



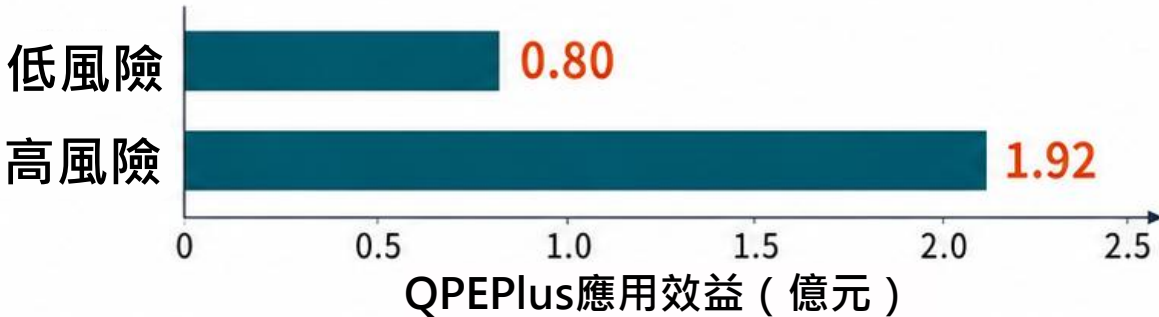
死傷比例依歷史災例與國內外文獻經驗設定，作為生命安全效益之推估依據。



量化效益分析



避免傷亡所帶來之生命安全效益



BCR (低風險)
= **8.37**



BCR (高風險)
= **20.18**



QPEPlus 之主要價值在於提升山區預警品質，將降雨監測能力轉化為疏散與生命安全效益。

註1：「113年土石流及大規模崩塌年報」發布之案例，當年度重大災害因成功疏散而避免傷亡之人數為 119 人。

註2：低風險情境設定死亡1%、重傷4%、輕傷10%；高風險情境設定死亡10%、重傷15%、輕傷25%。

QPEPlus 效益推估 - 全國預警撤離之應用效益（警消 / 縣市政府）



應用情境與假設

- ✓ QPEPlus 支援地方政府與消防單位掌握強降雨與對流發展，**提早啟動巡查、警戒與撤離**。
- ✓ 2014-2023年平均每年撤離人數14,618人。
- ✓ 依成功撤離案例推估「避免傷亡效率」約**10%**，並以兩種死傷情境估算生命安全效益。

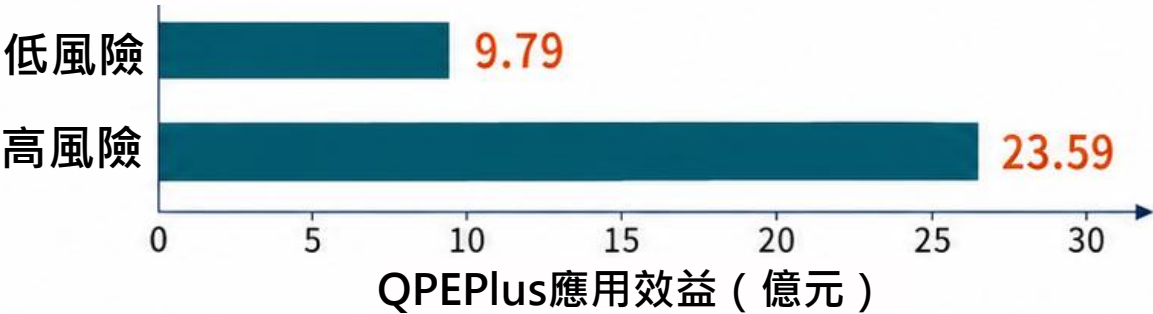
死傷情境假設

低風險	保守死傷比例	低風險情境假設
高風險	較高風險死傷比例	高風險情境假設



量化效益分析 (2014-2023)

避免傷亡所帶來之生命安全效益



BCR (低風險) =
102.87



BCR (高風險) =
247.81

註1：根據《災害防救白皮書》2014年至2023年開設中央災害應變中心累計撤離人數進行計算，得到平均每年撤離人數為14,618人。
註2：依據農業部農村發展及水土保持署2025年發佈的《113年土石流及大規模崩塌年報》，2024年的成功疏散案例疏散人數共1,190人，避免傷亡人數為119人，本研究以此估算避免傷亡效率為10%。
註3：低風險情境設定死亡1%、重傷4%、輕傷10%；高風險情境設定死亡10%、重傷15%、輕傷25%。

QPEPlus 效益推估 - 成本效益比綜整



BCR = 總效益 ÷ 總成本

年度系統成本為 **952.07** 萬元
(約0.0952億元)。



各應用單位總效益(年)

應用單位/情境	總效益(年)
航港局	1.167 億元
民航局	0.1224 億元
公路局	2.53 億元
水土保持署 (低風險/高風險)	0.80/1.92 億元
全國預警撤離 (低風險/高風險)	9.79/23.59 億元



國際預警系統BCR

Van Houtven (2024)
洪水預警 / 預報
BCR 4–30

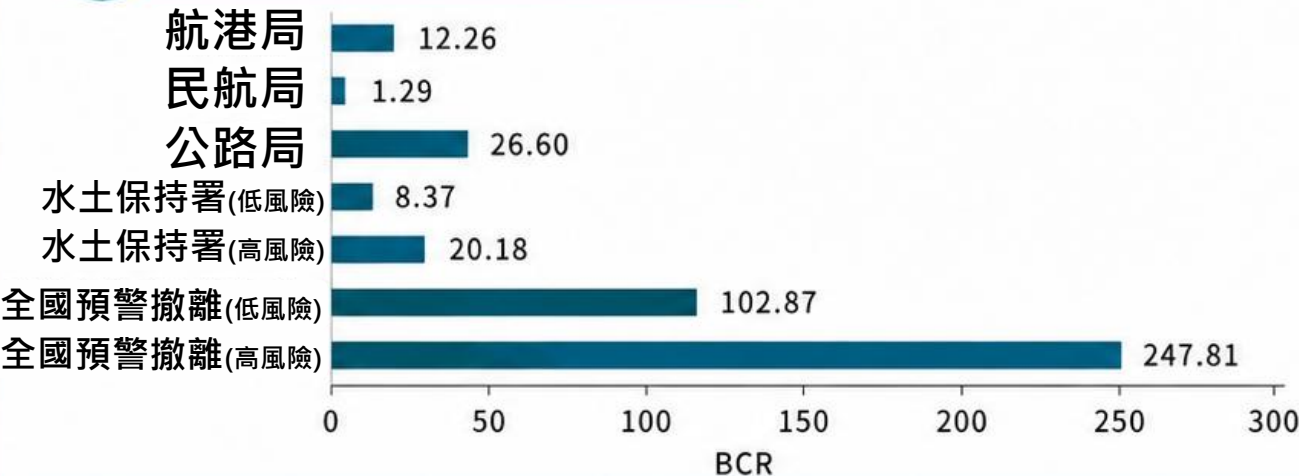
Rai et al. (2020)
尼泊爾洪水預警
BCR 24–73

Lazo et al. (2018)
美國天氣預報社會價值
BCR 6.2

Pappenberger et al. (2008)
歐洲洪水預警
BCR最高 400



各應用單位成本效益比(BCR)



所有評估情境之 **BCR 皆大於 1**，
顯示 QPEPlus 具成本效益。

QPEPlus 產品評估之研究限制

限制一 | QPEPlus應用單位用以評估應用效益之基礎資料不足

- 缺乏長期與系統性資料記錄：難以重建「有 / 無使用 QPEPlus 情境」之差異分析基礎。
- 缺乏與災害影響損失資料之連結：QPEPlus 使用紀錄與災損資料（如橋樑堤防損壞修復、撤離人數、損失金額等）之間缺乏串接。
- 效益估算需依賴替代資料：缺乏直接資料，因此借助文獻或政策資料進行「代理推估」，可能低估或高估實際效益。

限制二 | QPEPlus 實務採用度與使用情境差異大

不同單位在 QPEPlus 的使用目的、介接平台與決策程序上存在差異，造成應用效果不一致。

限制三 | 減災效益估算受假設參數影響程度高

本研究設定之「減災係數」與「氣象資訊貢獻率」在不同地區、事件類型與應用決策層級間可能有所差異。



未來建議：

- 1) 與應用單位建立「災害事件回溯資料紀錄格式」，使防災業務兼具「備查軌跡」與「事後效益評估」功能。
- 2) 優先針對高頻使用者（如地方防災中心）導入資料記錄制度，逐步累積長期成效資料。
- 3) 建立跨事件、跨區域之參數校正資料庫，以提升估算模型之精準度。
- 4) 未來可採用情境模擬與敏感度分析，檢視參數變動對效益估算結果之影響範圍。

感謝聆聽，敬請指教！

預警防減災係數、氣象貢獻率與生命價值

文獻綜整：預警減災成效

研究來源	估計減災比例
Smith (1981)	48%
Wind et al. (1999)	35%
Defra (2001)	28%
Parker et al. (2007/2009) (可調式防洪設施)	30% (可調式防洪設施)
European Commission (2015)	25%
Pappenberger et al. (2015)	32.85%



多數研究支持預警可降低約 **5%–48%** 災損；
本研究採 **30%** 為中位估計值。

本研究核心參數

減災係數



30%

氣象貢獻率



23.1%

評估邏輯



文獻 + 專家問卷

生命價值設定 (VSL)

死亡



3,000
萬元／人

重傷



315
萬元／人

輕傷



9
萬元／人

i 依國內實務採用 **3,000 萬元** 為死亡基準，並參考 U.S. DOT injury severity ratios。

關鍵估算式

① 預警減災效益 = 災害損失 × **30%** × **23.1%**

② 避免生命傷亡效益 = 傷亡價值 × **23.1%**